

ESTUDIO DE BIODETERIORO PRE Y POST INTERVENCIÓN EN ESCULTURAS FUNERARIAS INTEGRANTES DEL PATRIMONIO DEL CEMENTERIO DE LA RECOLETA

**Guiamet, P.S.^{1,2}, Crespo, M.³, Lavin, P.^{1,2}, Ponce, M.B.⁴, Gómez de Saravia,
S.G.^{1,5}**

1. Instituto de Investigaciones Fisicoquímicas Teóricas y Aplicadas (INIFTA), Departamento de Química, Facultad de Ciencias Exactas, UNLP, CCT La Plata- CONICET. C.C. 16, Suc.4, (1900), La Plata. Tel: 54-221-4257430, Fax: 54-221-4254642. pguiamet@inifta.unlp.edu.ar, paolalavin@hotmail.com sgomez@inifta.unlp.edu.ar
2. CONICET
3. Programa de Conservación y Restauración de Monumentos y Obras de Arte del Cementerio de La Recoleta. Subsecretaría de Patrimonio. Ministerio de Cultura G.C.B.A. Ciudad de Buenos Aires. Argentina. clclo@infovia.com.ar
4. INTEMIN - SEGEMAR. San Martín. Buenos Aires. Argentina. beatriz.ponce@segemar.gov.ar
5. CICBA

RESUMEN

El patrimonio pétreo expuesto a la intemperie es susceptible a la colonización biológica. Las superficies de las rocas y otros materiales inorgánicos son utilizadas como sustrato por una amplia variedad de microorganismos: bacterias quimiorganótrofas, quimiolitótrofas y fotótrofas, actinomicetes, hongos y líquenes. El biodeterioro es considerado como cualquier cambio indeseable e irreversible en las propiedades del material soporte de la obra, causado por el desarrollo y adherencia de biofilms (comunidades microbianas complejas inmersas en sustancias poliméricas extracelulares –SPE-).

Entre los efectos originados por el biodeterioro se puede mencionar: la modificación cromática en los sustratos pétreos dada por la presencia de pigmentos biogénicos, el estrés mecánico en la estructura mineral debido a la presencia de SPE y la acumulación de contaminantes atmosféricos, incrementada por el propio biofilm. Estas transformaciones modifican la apariencia estética de la obra, impactando en ella y generando transformaciones, que aún neutralizadas, se interpretan como huellas generadas por el propio transcurso del tiempo.

El objetivo de este trabajo fue evaluar la acción de inhibidores aplicados sobre dos monumentos funerarios realizados en mármol, integrantes del patrimonio del cementerio de La Recoleta: José C. Paz y Rufina Cambaceres y caracterizar el grado de deterioro ocasionado para establecer, a partir de estos datos, un acta de mantenimiento. Se realizaron monitoreos sectorizados de acuerdo a la morfología del monumento y su orientación para el seguimiento de la evolución de los tratamientos aplicados. Se hicieron controles en las etapas de pre y post intervención mediante estudios microbiológicos, microscopía electrónica de barrido (MEB) y análisis de dispersión de rayos X (EDX).

Los resultados obtenidos mostraron una significativa disminución en la flora colonizante del mármol luego del tratamiento de intervención. Estas conclusiones constituyen un valioso aporte para la elaboración de políticas de conservación y restauración.

INTRODUCCIÓN

Las monumentos se encuentran expuestos a agentes meteorizantes de manera continua, entre ellos el viento, la temperatura y la lluvia. Estos agentes inducen procesos de meteorización física y química. Los primeros afectan la estabilidad de la matriz de la roca, mientras que los segundos actúan a través de la corrosión química de los minerales formadores de roca, tales como reacciones de oxidación y deshidratación, así como también la disolución de carbonatos y la solubilización de algunos elementos de los minerales que contienen silicatos [1]. Sumado a ello, el patrimonio pétreo expuesto a la intemperie es susceptible a la colonización biológica. Las superficies de las rocas y otros materiales inorgánicos son utilizadas como sustrato por una amplia variedad de microorganismos como bacterias quimiorganótrofas, quimiolitótrofas y fotótrofas, actinomicetes, hongos y líquenes [2].

El biodeterioro es considerado como cualquier cambio indeseable e irreversible en las propiedades del material soporte de la obra, causado por la presencia de biofilms (comunidades microbianas complejas inmersas en SPE). El componente mayoritario de las SPE son polisacáridos [3]. Entre los efectos originados por el biodeterioro se puede mencionar: la modificación cromática en los sustratos pétreos dada por la presencia de pigmentos biogénicos, lo que afecta la apariencia estética y por lo tanto la lectura de la obra; el estrés mecánico en la estructura mineral debido a la presencia de SPE, efecto que se incrementa mediante los sucesivos ciclos de hidratación y secado; y la acumulación de contaminantes atmosféricos, incrementada por el propio biofilm [1].

Los ataques biológicos y la intensidad de los procesos de biodeterioro están fuertemente influidos por la disponibilidad de agua, estando determinados tanto por parámetros específicos del material (porosidad, permeabilidad), su estado de conservación (decohesión, microfisuras), así como también por las condiciones ambientales del sitio de exposición del objeto [4,5]. Además, la biomasa natural acumulada por microorganismos fotosintéticos, contaminantes antropogénicos (compuestos nitrogenados, hidrocarburos) de origen agrícola o industrial pueden servir como única fuente de nutrientes para los microorganismos que colonizan la roca. El crecimiento y la actividad metabólica de los organismos son regulados por parámetros naturales tales como luz y humedad.

En el cementerio de La Recoleta, ubicado en un Área de Protección Histórica de la ciudad de Buenos Aires la mayor parte de las esculturas conmemorativas fueron realizadas y localizadas en el período que va de 1900 a 1930. Muchas de estas esculturas fueron realizadas en base a materiales específicos. Para los casos de los monumentos Jose C. Paz y Rufina Cambaceres dicho material es el mármol [6].

El objetivo de este trabajo fue evaluar la acción del inhibidor cloruro de benzalconio aplicado sobre dos monumentos funerarios realizados en mármol, integrantes del patrimonio del cementerio de La Recoleta: José C. Paz y Rufina Cambaceres y caracterizar el grado de deterioro ocasionado para establecer, a partir de estos datos, un acta de mantenimiento.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizaron muestreos pre y post intervención para ambos monumentos en épocas estacionalmente equivalentes (otoño). Se tomaron dos muestras en el caso del monumento

José C. Paz (1,2) y tres muestras en el caso del monumento Rufina Cambaceres (3, 4 y 5). El compuesto utilizado como inhibidor en la intervención fue el cloruro de benzalconio, mediante compresas y remoción mecánica con cepillo de cerda.

Para el aislamiento de microorganismos se realizaron muestreos microbiológicos "in situ" con la utilización de lámino-cultivos Envirocheck® Contact YM (R) (Merck), obteniendo una evaluación cuantitativa de la carga microbiana por superficie. Paralelamente a estos estudios se preparó un diluyente adecuado para luego proceder al procesamiento de la muestra. Las condiciones de incubación fueron de 72 hs y hasta 15 días para bacterias -según los casos- y de 5 a 7 días para hongos, en ambos casos a una temperatura de 28°C. Se utilizaron técnicas microbiológicas para cuantificar (recuento en placa, dilución por extinción), aislar y tipificar los microorganismos mediante la utilización de pruebas bioquímicas [7]. Se utilizaron técnicas biológicas para identificar otros agentes causantes de biodeterioro. La determinación de los géneros fúngicos se realizó mediante observaciones al microscopio óptico, de acuerdo a claves taxonómicas [8].

Para evaluar la presencia/ausencia de microorganismos acidificantes, bacterias sulfato-reductoras (BRS) y bacterias reductoras de sulfito se utilizaron los medios BAT, Postgate B y DRCM respectivamente [9]. En el monumento Rufina Cambaceres se obtuvieron micromuestras, las cuales fueron procesadas según Videla *et al.* (2001) [10]. Las muestras fueron observadas con un MEB Jeol 6360LV y su composición química elemental fue obtenida mediante EDX.

RESULTADOS

En ambos casos, las intervenciones posibilitaron recuperar la lectura de conjunto de la obra, permitiendo apreciar las distintas formas constitutivas de los monumentos en cuanto a su variedad formal y distintos tratamientos superficiales. El monumento de Rufina Cambaceres presentó una notable reducción de las áreas negras encontradas en la pre intervención (Fig.1)

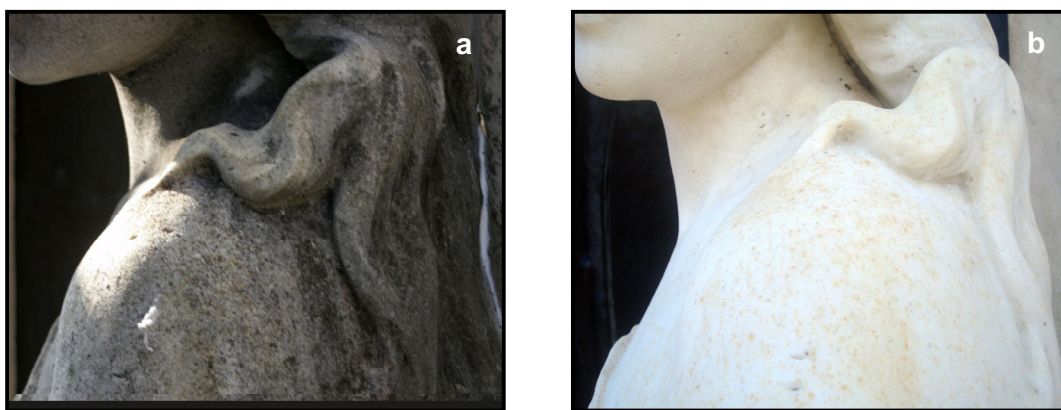


Figura 1. Monumento Rufina Cambaceres (a) pre intervención; (b) post intervención.

Los recuentos de bacterias heterotróficas totales y mohos mediante la utilización de lamino-cultivos en la etapa pre intervención y post intervención -de acuerdo al monumento- se observan en la Fig.2.

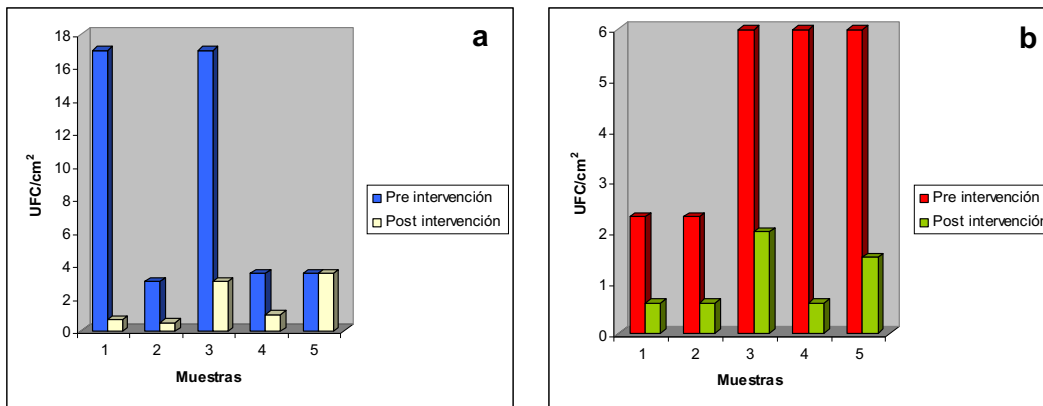


Figura 2. Recuentos de UFC/cm² mediante la técnica de lamino cultivos(a) bacterias heterotróficas totales, (b) mohos.

Se evaluó la presencia/ausencia de bacterias con actividad acidificante y bacterias reductoras de sulfato (BRS). Las primeras desarrollaron en las muestras (presencia) de ambos monumentos en la etapa pre intervención, estando ausentes en las muestras tomadas luego de la intervención. No hubo desarrollo de BRS en ninguno de los lugares muestreados en ninguna de las dos etapas de muestreo.

Se detectó la presencia de bacterias sulfito reductoras (*Clostridium* spp) en dos de las tres las muestras (3, 4) de las tres muestras pertenecientes al monumento Rufina Cambaceres. En esta misma obra se detectaron valores de 20 UFC/cm² en bacterias coliformes totales. Los géneros bacterianos frecuentemente aislados fueron *Pseudomonas* spp y *Bacillus* spp. Los géneros fúngicos mas comúnmente hallados fueron *Aspergillus* spp, *Alternaria* spp y *Penicillium* spp para ambos monumentos. También se detectó la presencia de la levadura *Rhodotorula* sp.

Las imágenes de MEB muestran gran cantidad de microcolonias fúngicas colonizando el mármol. En la etapa post intervención aún pueden observarse las hifas penetrando entre los granos de la roca (Fig.3)

Los análisis con microsonda (EDX) revelan para los casos de las áreas negras, la presencia de elementos extraños a la composición original de la roca tales como azufre (en una variedad de yeso), hierro y plomo. En algunos sectores del monumento Rufina Cambaceres se encontró que el plomo (Pb) emite picos que alcanzan valores de 30,75 (Fig.4)

CONCLUSIÓN Y DISCUSIÓN

Las alteraciones observadas en superficie en ambas obras fueron esencialmente de tipo erosivo, estando vinculadas a agentes agresivos como lluvia, acción atmosférica y bioalteración. Esto ha provocado la pérdida de brillo y aumento de la porosidad superficial. En sectores cóncavos correspondientes a ornatos de coronamiento y figuras alegóricas se observó decohesión superficial en los límites de las áreas negras (costras de material particulado de origen carbonoso), pudiéndose coleccionar material pulverulento producto de la desintegración de la propia roca y depósito de yeso. También se observó guano de aves y excreciones de artrópodos en determinados sectores del monumento Rufina Cambaceres.

El abundante material biológico, las SPE y la presencia de una comunidad microbiana compleja, actuarían alterando la estructura y la integridad de la roca, provocando pérdida de cohesión en los granos de mármol y atacando químicamente el sustrato (Fig.3).

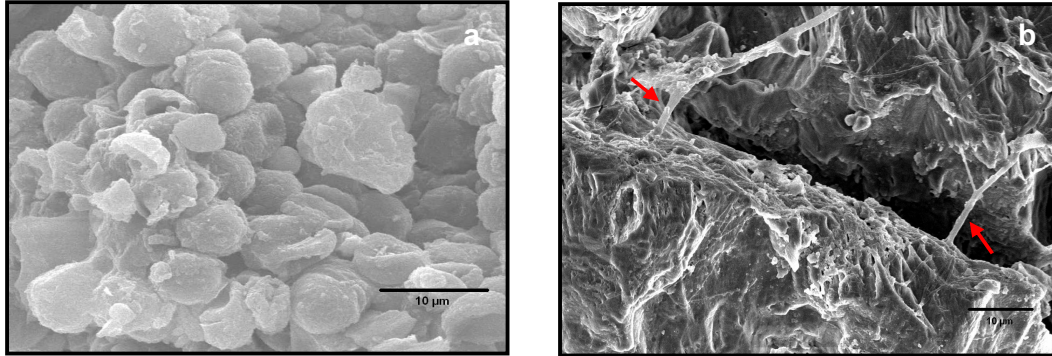


Figura 3. Microfotografías de MEB. Mármol perteneciente al monumento Rufina Cambaceres. (a) pre intervención. Se observan microcolonias fúngicas; (b) post intervención. Las flechas indican la presencia de hifas fúngicas entre los granos de la roca.

Los recuentos microbiológicos muestran una disminución en la flora microbiana que coloniza ambos monumentos y la eliminación de microorganismos acidificantes que podrían alterar el mármol, lo que indica la efectiva actividad antimicrobiana del cloruro de benzalconio. Este compuesto es una sal de amonio cuaternario, con actividad microbicida debida a su carácter catiónico, ya que interviene con las membranas biológicas determinando cambios de estructura y permeabilidad. Este efecto no sería tan marcado en el caso de los mohos, ya que los recuentos post intervención no evidenciaron una disminución tan abrupta como en el caso de las bacterias (Fig.2).

La actividad metabólica de las bacterias gram-negativas como *Pseudomonas* spp está sujeta a la disponibilidad de materia orgánica [9]. Por la localización de los monumentos esta materia orgánica podría provenir del suelo, el polvo e incluso organismos muertos (fototrófos y heterótrofos), pudiendo así mantenerse el crecimiento y la actividad de grandes poblaciones bacterianas [12].

Según Burford *et al.* (2003) [13] los géneros fúngicos hallados en los monumentos estudiados son frecuentemente asociados a rocas como mármol. Algunos de estos géneros poseen pigmentos biogénicos que podrían colorear las rocas.

En el caso del monumento Rufina Cambaceres, las imágenes de MEB evidencian una menor colonización microbiana en la etapa post intervención (Fig.3), sin embargo, muestran que aun persisten hifas fúngicas en el sustrato (o que los hongos han recolonizado el mármol), por lo que es de suma importancia realizar este tipo de tratamientos con biocidas periódicamente sobre los sustratos pétreos. Los hongos quimiorganótrofos (que se alimentan de compuestos inorgánicos) están especialmente concentrados en las costras de la roca. Estos son capaces de penetrar dentro del material mediante el crecimiento de sus hifas y ejercer una actividad biocorrosiva, debida a la excreción de ácidos orgánicos (oxálico, fumárico), a la oxidación de los cationes que forman los minerales [14,15,16] o a la excreción de agentes orgánicos quelantes que secuestran los cationes metálicos de la roca [13,17]. A su vez, al retener agua, el micelio contribuye a la degradación mecánica de la

roca, ocasionando la pérdida de cohesividad en los granos de la roca mediante los sucesivos ciclos de hidratación y secado, lo cual pudo observarse en ciertos sectores de los monumentos estudiados. También el guano de aves y las excreciones de diversos artrópodos observadas podrían aportar nutrientes para facilitar la posterior colonización microbiana y el consecuente desarrollo del biofilm [18]. Esto podría explicar los recuentos de bacterias coliformes en el monumento Rufina Cambaceres.

Por su parte, el hallazgo de Pb, evidenciado en los análisis de EDX, demuestra la contaminación ambiental de la zona de emplazamiento del monumento.

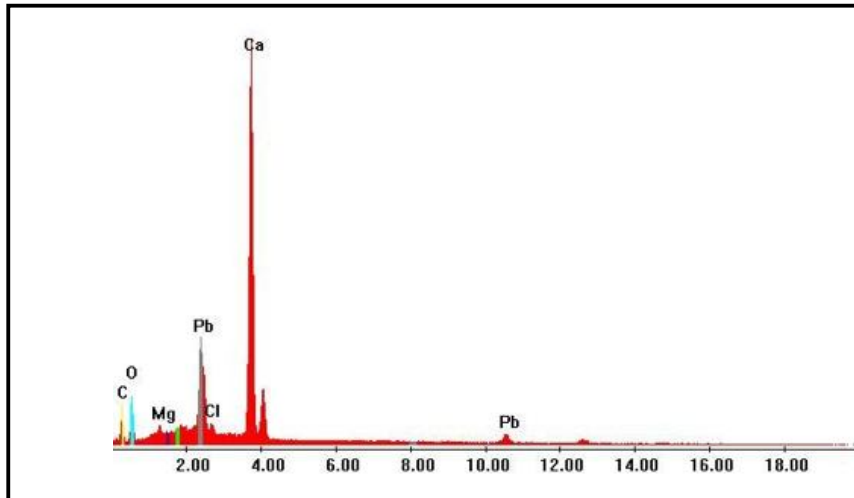


Figura 4. Espectro de la superficie del mármol perteneciente al monumento Rufina Cambaceres. Se observan los picos correspondientes al elemento Pb.

La suma de información obtenida a partir de este y sucesivos estudios tendrán por finalidad elaborar actas de mantenimiento para los monumentos pertenecientes al patrimonio del Cementerio de La Recoleta, considerando las condiciones locales a las que se hallan expuestas dichas obras, su orientación y morfología para poder determinar tratamientos y monitoreos sectorizados con diferentes intervalos en una misma obra. Estos estudios contribuyen a la comprensión de las transformaciones del material bajo la influencia del medio ambiente y causas asociadas, permitiendo establecer criterios que restauración que inhiban el desarrollo del biofilm, pero a su vez comprendan la variación cromática asociada, la que sin alterar la lectura de la imagen forma parte del transcurrir del tiempo.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Universidad Nacional de La Plata (UNLP 11N 578 y 11X 506) por los subsidios recibidos para la financiación de este trabajo y a las autoridades del Cementerio de La Recoleta y propietarios de las bóvedas por su colaboración.

REFERENCIAS

[1] WARSCHEID, T., BRAAMS, J. "BIODETERIORATION OF STONE: A REVIEW". *International Biodeterioration and Biodegradation*, Vol. 46, 2000, 343-368.

- [2] KRUMBEIN, W. "PATINA AND CULTURAL HERITAGE –A GEOMICROBIOLOGIST'S PERSPECTIVE", *Biodeterioration and its control –biotechnologies in cultural heritage protection and conservation*, www.heritage.xtd.pl/pdf/full_krumbein.pdf.
- [3] DONG GU, J., MITCHELL, R. "BIODETERIORATION", The prokaryotes. Parte 3. Springer, New York. 2006, 864-903.
- [4] BERTHELIN, J. "MICROBIAL WEATHERING PROCESSES IN NATURAL ENVIRONMENTS". Physical and chemical weathering in geochemical cycles. Proceedings of the NATO Advanced Study Institute on Physical and Chemical Weathering in Geochemical Cycles, France, 1985. 375 pp.
- [5] CRESPO, M., DE MAIO, M.B.P. de. "BIODETERIORATION DIAGNOSIS OF A RELIEF BELONGING TO THE GRAVE OF OLIVERA DE PIGNETTO IN RECOLETA CEMETERY, ARGENTINA". 4th Latin American Biodeterioration and Biodegradation Symposium. T2065 CD-ROM 7pp. Buenos Aires, Argentina, 2001.
- [6] DE MAIO, M.B.P. de, DOMÍNGUEZ, M. "DURABILITY ANALYSIS OF ORNAMENTAL ROCKS VS. NATURAL WEATHERING" International Congress on the Conservation of Stone and Other Materials. UNESCO-RILEM, París, Francia, 1993.
- [7] HOLT, J.G., KRIEG, N.R., SNEATH, P.H.A., STALEY, J.T., WILLIAMS, S., BERGEY'S MANUAL OF DETERMINATIVE BACTERIOLOGY, Baltimore, Williams & Wilkins, 1994.
- [8] CARMICHAEL, J.W., BRYCE KENDRICK, W., CONNERS, I.L., SIGLER, L. GENERA OF HYPHOMYCETES, The University of Alberta Press, Canada, 1980.
- [9] GUIAMET, P. "EFECTO DE LOS CONTAMINANTES FUNGICOS Y BACTERIANOS EN EL BIODETERIORO DE MATERIALES". Editores: H.A. Videla, C.A Giudice. Jornadas científico tecnológicas sobre prevención y protección del patrimonio cultural iberoamericano de los efectos del biodeterioro ambiental. CYTED. Subprograma XV Corrosión e impacto ambiental sobre materiales Red temática XV-E (PRESERVAR), 2001, p.49-56.
- [10] VIDELA, H.A., GUIAMET, P.S., GÓMEZ DE SARAVIA, S.G. "BIODETERIORATION OF MAYAN ARCHAEOLOGICAL SITES IN THE YUCATAN PENINSULA, MEXICO". *International Biodeterioration and Biodegradation*, Vol. 46, 2000, 335-341.
- [11] FLORES, M., LORENZO, J., GÓMEZ-ALARCÓN, G. "ALGAE AND BACTERIA ON HISTORIC MONUMENTS AT ALCALA DE HENARES, SPAIN". *International Biodeterioration and Biodegradation*, N° 24, Vol. 40, 1997, 241-246.
- [12] SAIZ JIMENEZ, C. "DEPOSITION OF ANTHROPOGENIC COMPOUNDS ON MONUMENTS AND THEIR EFFECT ON AIRBORNE MICROORGANISMS". *Aerobiología*, Vol. 11, 1995, 161-175.
- [13] BURFORD, E., FOMINA, M., GADD, G. "FUNGAL INVOLVEMENT IN BIOWEATHERING AND BIOTRANSFORMATION OF ROCKS AND MINERALS". *Mineraogical Magazine*, N° 6, Vol.67, 2003, 1127-1155.
- [14] GAYLARDE, P.M, GAYLARDE, C.C., GUIAMET, P.S., GÓMEZ DE SARAVIA, S.G., VIDELA, H.A. "BIODETERIORATION OF MAYAN BUILDINGS AT UXMAL AND TULUM, MEXICO". *Biofouling*. OPA (Overseas Publishers Association), 2001, N° 1, vol. 17, p. 41-45. ISSN 08927014. Impacto 2.729
- [15] GORBUSHINA, A. "LIFE ON ROCKS". *Environmental Microbiology*, N° 7, Vol.9, 2007, 1613–1631.
- [16] GADD, G. "GEOMYCOLOGY: BIOGEOCHEMICAL TRANSFORMATIONS OF ROCKS, MINERALS, METALS AND RADIONUCLIDES BY FUNGI, BIOWEATHERING AND BIOREMEDIATION". *Mycological Research* III, 2007, 3- 49.
- [17] GÓMEZ ALARCÓN, G., CILLEROS, B., FLORES, M., LORENZO, J. "MICROBIAL COMMUNITIES AND ALTERATION PROCESSES IN MONUMENTS AT ALCALA DE HENARES, SPAIN". *The Science of the Total Environment*, Vol. 167, 1995, 231-239
- [18] ROSATO, V., GÓMEZ DE SARAVIA, S.G., GARCÍA, A.M., MORENO, D.A., GUIAMET, P. "BIOFILMS ON FUNERARY MONUMENTS IN LA PLATA CEMETERY: STUDY OF CRYPTS WITH HISTORICAL AND ARCHITECTURAL INTEREST", 13th International Biodeterioration and Biodegradation Symposium, CD-ROM, Italia, 2008.